



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
17.04.2002 Patentblatt 2002/16

(51) Int Cl.7: **B61K 9/12, G01M 17/10**

(21) Anmeldenummer: **01890293.2**

(22) Anmeldetag: **11.10.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

- **Kitzmüller, Christian**
8010 Graz (AT)
- **Wiemerslage, Dieter**
91093 Untermembach (DE)
- **Einzmann, Klaus, Dipl.Ing.**
91350 Gremsdorf-Buch (DE)

(30) Priorität: **12.10.2000 AT 17492000**

(74) Vertreter: **Matschnig, Franz, Dipl.-Ing.**
Patentanwalt,
Siebensterngasse 54,
Postfach 252
1071 Wien (AT)

(71) Anmelder: **Siemens SGP Verkehrstechnik GmbH**
1110 Wien (AT)

(72) Erfinder:
• **Alexandru, Theodor, Dipl.Ing.**
8020 Graz (AT)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Schadenserkennung an Rädern eines Schienenfahrzeuges**

(57) Ein Verfahren zur Schadenserkennung an in Achslagerungen (AXL) gelagerten Rädern eines Schienenfahrzeuges, wobei im Bereich zumindest einer Achslagerung (AXL) zumindest ein Beschleunigungssignal (SI1, SI2, SI3, SI4) erzeugt wird und anhand dieses

Signals beurteilt wird ob ein Radschaden vorliegt, eine vorgebbare Anzahl von Radrundheitsharmonischen ermittelt werden, aus denen zumindest ein Kennwert (KEN) zur quantitativen und qualitativen Beurteilung des Radzustandes gebildet wird.

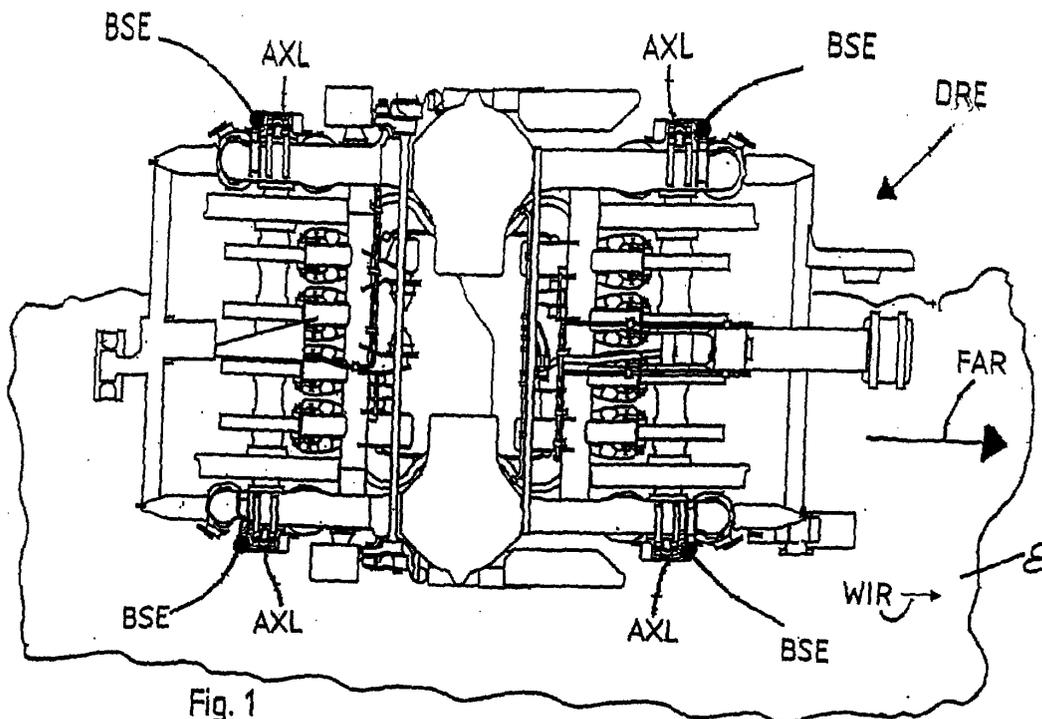


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Schadenserkennung an in Achslagerungen gelagerten Rädern eines Schienenfahrzeuges, wobei im Bereich zumindest einer Achslagerung zumindest ein Beschleunigungssignal erzeugt wird, aus welchem Radunrundheitsharmonische ermittelt werden.

[0002] Weiters betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Schadenserkennung an in Achslagern gelagerten Rädern eines Schienenfahrzeuges, wobei im Bereich zumindest einer Achslagerung zumindest ein Beschleunigungssensor vorgesehen ist, der mit einer Auswerteeinheit in Verbindung steht, die dazu eingerichtet ist, zumindest ein Beschleunigungssignal von dem Beschleunigungssensor zu empfangen, und daraus Radunrundheitsharmonische zu ermitteln.

[0003] Der Kenntnis des Zustandes der Räder kommt bei dem praktischen Einsatz eines Schienenfahrzeuges vor allem hinsichtlich der Betriebssicherheit eine große Bedeutung zu.

[0004] Eine häufig angewendete Methode zur Erkennung von Radschäden besteht darin, die Räder eines Schienenfahrzeuges einer Sichtkontrolle zu unterwerfen und gegebenenfalls zu einer weiteren Untersuchung auszubauen.

[0005] Es sind auch Vorrichtungen bekannt, die auf der Erzeugung von elektronischen Signalen, beispielsweise von Beschleunigungssignalen, an vorgebbaren Bauteilen basieren, wobei aus dem gewonnenen Signalen auf den Zustand des betrachteten Bauteils, beispielsweise eines Rades, zurückgeschlossen werden soll.

[0006] Eine derartige Vorrichtung wird in der EP 0 058 705 beschrieben. Die dort offenbarte Vorrichtung weist im Bereich jeder Achslagerung der Räder einen Sensor auf, beispielsweise einen Beschleunigungssensor, der Achslagerschwingungen aufnimmt und als Signale an eine Auswerteeinheit weiterleitet. Aus diesen Signalen kann in der Auswerteeinheit auf den Zustand des betrachteten Rades zurückgeschlossen werden.

[0007] Die WO 82/00805 A1 offenbart ebenfalls ein elektronisches Überwachungssystem für Radachsen eines Schienenfahrzeuges. Die bekannte Vorrichtung weist im Bereich jeder Achslagerung von Rädern eines Schienenfahrzeuges einen Sensor, beispielsweise einen Beschleunigungssensor, auf, der Achslagerschwingungen aufnimmt und als Signale an eine Auswerteeinheit weiterleitet. Aus diesen Signalen kann auf den Zustand eines betrachteten Bauteils, beispielsweise eines Rades, zurückgeschlossen werden. Dabei wird das Auftreten unterschiedlicher, d. h. normalerweise nicht vorhandener, Radschäden entsprechender Frequenzen beobachtet.

[0008] Die DE 2 105 869 A1 offenbart ein Verfahren zur Erkennung von Laufflächenschäden an Eisenbahnrädern, wobei an den Achslagern Messfühler angeordnet sind, welche die Beschleunigungen, die beim Abrollen

eines Rades mit schadhafter Lauffläche auftreten, messen. Die einer schadhafter Lauffläche zugeordneten Beschleunigungen werden in elektrische Signale umgewandelt und auf einer Anzeigeeinrichtung dargestellt.

[0009] Die US 5 433 111 A beschreibt eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erkennung von Radschäden eines Schienenfahrzeuges. Die bekannte Vorrichtung weist eine Messeinheit zur Ermittlung der Achsrotation eines Radsatzes und einen Bewegungssensor, beispielsweise einen Beschleunigungssensor, zur Erfassung von Bewegungen vertikal zur Schienenebene. Tritt ein Radschaden auf, so wird mit der Periode der Achsrotation ein Beschleunigungssignal in vertikaler Richtung erzeugt, welches einen Rückschluss darauf zulässt, ob ein Radschaden vorliegt, wobei das Auftreten von Radunrundheitsharmonischen mit einem Radschaden gleichgesetzt wird.

[0010] Nachteilig an dem bekannten Verfahren ist, dass es für eine praktische Lösung des Problems, einen Radschaden bei einem Schienenfahrzeug zu erkennen, nicht besonders gut geeignet ist, da in der Praxis bei allen rollenden mechanischen Systemen, wie beispielsweise Rädern eines Schienenfahrzeuges, immer Unrundheitsharmonische auftreten - selbst bei neuen, unbeschädigten Rädern treten infolge der bei der Herstellung zwangsweise vorhandenen Unregelmäßigkeiten der Lauffläche Radunrundheitsharmonische auf.

[0011] Die US 5 924 654 offenbart eine Vorrichtung zur Erfassung der Bewegungen eines Schienenfahrzeuges, wobei auf der Innenseite eines Schienenfahrzeuges ein Sensor angeordnet ist, der zur Erfassung der Bewegungen des Schienenfahrzeuges eingerichtet ist. In einer mit dem Sensor verbundenen Auswerteeinheit können anhand von dem Sensor übermittelten Signalen Schäden an dem Schienenfahrzeug erkannt werden.

[0012] Nachteilig an den bekannten Methoden und Vorrichtungen ist, dass sie im Fall der Sichtkontrolle mit einem sehr hohen Zeit- bzw. Kostenaufwand verbunden sind, und im Fall der bekannten elektronischen Überwachung keine befriedigenden Ergebnisse hinsichtlich der Genauigkeit bei der Schadenserkennung bzw. Beurteilung liefern.

[0013] Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, einen Weg zu schaffen, mit dem es möglich ist einen Radschaden möglichst genau und mit großer Sicherheit kostengünstig festzustellen.

[0014] Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass aus einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen zumindest ein Kennwert gebildet wird, der den Radzustand quantitativ und/oder qualitativ charakterisiert.

[0015] Diese Lösung erlaubt eine sehr genaue Quantifizierung eines Radschadens, da die Radunrundheitsharmonischen ein wesentliches Merkmal für den Radzustand darstellen und eine Merkmalsextraktion in Form eines Kennwertes eine sehr genaue Aussage

über den Radzustand in qualitativer und quantitativer Hinsicht ermöglichen.

[0016] Eine vorteilhafte Ausführungsform, um die Radunrundheitsharmonischen exakt zu bestimmen besteht darin, dass Signalwerte des zumindest einen Beschleunigungssignals, die innerhalb eines vorgebbaren Zeitfensters liegen, einer Fouriertransformation oder einer ähnlichen Transformation unterworfen werden, und aus jeder Transformatierten der Signalwerte des Beschleunigungssignals die Radunrundheitsharmonischen ermittelt werden.

[0017] Ein Kennwert zur quantitativen Bestimmung eines Radschadens kann dadurch ermittelt werden, dass aus Amplituden einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen ein Mittelwert gebildet wird.

[0018] Ein Kennwert zur qualitativen Bestimmung eines Radschadens kann dadurch ermittelt werden, dass die Phasendifferenz von zumindest zwei Radunrundheitsharmonischen gebildet wird, die beispielsweise je einem Rad eines Radsatzes zugeordnet sind.

[0019] Eine vorteilhafte Variante der Erfindung sieht vor, dass zur Ermittlung des Kennwertes eine Kepstralanalyse des zumindest einen Beschleunigungssignals durchgeführt wird.

[0020] Vorteilhafterweise wird zur Ermittlung der Radunrundheitsharmonischen die Drehfrequenz einer Radachse zumindest eines betrachteten Rades ermittelt.

[0021] Zur Ermittlung eines Kennwertes, der die Abweichung der Lauffläche eines Rades von der Kreisform angibt, können Amplituden einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen durch das Quadrat der jeweils der betreffenden Radunrundheitsharmonischen zugehörigen Kreisfrequenz dividiert und die daraus resultierenden, räumlichen Radunrundheitsharmonischen hierauf unter Berücksichtigung ihrer Phasenlage einer inversen Fouriertransformation unterworfen werden.

[0022] Um eine Analyse des Radzustandes in Abhängigkeit von der Betriebsdauer des Rades zu ermöglichen, wird der zumindest eine Kennwert in einer Kennwertdatenbank abgelegt.

[0023] Zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens eignet sich im besonderen eine Vorrichtung der eingangs genannten Art, bei welcher die Auswerteeinheit dazu eingerichtet ist, aus einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen zumindest einen Kennwert zu bilden, der den Radzustand quantitativ und/oder qualitativ charakterisiert.

[0024] Vorteilhafterweise ist die Auswerteeinheit dazu eingerichtet, Signalwerte des zumindest einen Beschleunigungssignals, die innerhalb eines vorgebbaren Zeitfensters liegen, einer Fouriertransformation oder einer anderen unitären Transformation zu unterwerfen, die den Zeitbereich eines Signals auf den Frequenzbereich abbildet.

[0025] Weiters ist die Auswerteeinheit dazu eingerichtet, zur Kennwertbildung aus Amplituden einer vor-

gebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen einen Mittelwert sowie Phasendifferenzen von z. B. zumindest zwei gleichrangigen Radunrundheitsharmonischen zu bilden, die einem und/oder je einem Rad eines Radsatzes zugeordnet sind.

[0026] Eine vorteilhafte Variante der Erfindung sieht vor, dass die Auswerteeinheit dazu eingerichtet ist, eine Kepstralanalyse des zumindest einen Beschleunigungssignals durchzuführen.

[0027] Günstigerweise ist die Vorrichtung dazu eingerichtet, zur Ermittlung der Radunrundheitsharmonischen die Drehfrequenz einer Radachse zumindest eines betrachteten Rades zu ermitteln.

[0028] Die Auswerteeinheit kann dazu eingerichtet sein, Amplituden einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen durch das Quadrat der jeweils der betreffenden Radunrundheitsharmonischen zugehörigen Kreisfrequenz zu dividieren und die daraus resultierenden, räumlichen Radunrundheitsharmonischen hierauf unter Berücksichtigung ihrer Phasenlage einer inversen Fouriertransformation zu unterwerfen.

[0029] In einer günstigen Ausführungsform der Erfindung ist eine Kennwertdatenbank zur laufenden Speicherung der Kennwerte vorgesehen.

[0030] Die Erfindung samt weiteren Vorteilen wird im folgenden anhand einiger nicht einschränkender Ausführungsbeispiele näher erläutert, die in der Zeichnung dargestellt sind, in dieser zeigen:

Fig. 1 in einer Draufsicht auf ein Drehgestell die Anordnung von Beschleunigungssensoren gemäß der Erfindung zur Ermittlung von Radschäden,

Fig. 2 eine erfindungsgemäße Vorrichtung in einem vereinfachten Blockschaltbild,

Fig. 3 einen Ausschnitt aus einem Amplitudenspektrum eines Beschleunigungssignals, bei welchem auf der y-Achse die Beschleunigung und auf der x-Achse die Frequenzen aufgetragen sind,

Fig. 4. eine Phasendifferenzverteilung zweier Radunrundheitsharmonischer, in einem Zeigerdiagramm

Fig. 5 einen weiteren Ausschnitt aus einem Amplitudenspektrum eines Beschleunigungssignals;

Fig. 6 ein Kepstrum des Amplitudenspektrums aus Fig. 5;

Fig. 7 einen weiteren Ausschnitt aus einem Amplitudenspektrums eines Beschleunigungssignals mit Phaseninformation, wobei auf der y-Achse die Beschleunigungen und auf der x-Achse die Frequenzen aufgetragen sind,

Fig. 8 das Amplitudenspektrum aus Fig. 7 mit Pha-

seninformation in einer vereinfachten Darstellung;

Fig. 9 ein Spektrum räumlicher Amplituden mit Phaseninformation und

Fig. 10 einen Unrundheitsverlauf, wobei auf der y-Achse die Abweichung von der Kreisform eines betrachteten Rades und auf der x-Achse der polare Verlauf in Grad.

[0031] Gemäß Fig. 1 weist eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Schadenserkenkung an einem Rad eines Schienenfahrzeuges an jeder Achslagerung AXL eines Rades eines Drehgestells DRE des Schienenfahrzeuges einen Beschleunigungssensor BSE auf.

[0032] Durch die Drehbewegung einer starr mit einem Innenring eines Wälzlagers verbundenen Radachse werden aufgrund von Unebenheiten an der Lauffläche eines abrollenden Rades während einer Fahrt des Schienenfahrzeuges Schwingungen in dem Drehgestell induziert. Diese Schwingungen sind in Form lokaler Beschleunigungsschwankungen an der Achslagerung AXL der Radachse messbar, wobei ausgewählte Schwingungsanteile, die sogenannten Radunrundheitsharmonischen, Rückschlüsse auf den Radzustand zulassen.

[0033] Bei den Radunrundheitsharmonischen handelt es sich um erzwungene periodische Schwingungen, die durch Abweichungen des Radquerschnittes von der Kreisform hervorgerufen werden. Der dem Entstehen von Radunrundheitsharmonischen zugrundeliegende Mechanismus kann wie folgt verstanden werden: Das Abrollen der nicht runden Räder verursacht Erschütterungen des Drehgestells. Eine Stelle an dem Radkranz des Rades wird dabei in einem zeitlichen Abstand überrollt, der dem Kehrwert der Drehfrequenz der Radachse entspricht. Eine Beschädigung/Abflachung des Radkranzes führt daher zu einer Stoßfolge mit der Drehfrequenz der Radachse und induziert eine Radunrundheitsschwingung in der Achslagerung des betreffenden Rades deren Grundfrequenz exakt mit der Drehfrequenz ν_0 der Radachse übereinstimmt (Fig. 3).

[0034] Unter dem Begriff Harmonische werden in diesem Dokument Spektrallinien verstanden, deren Frequenzen ein ganzzahliges Verhältnis zu einer gemeinsamen Grundfrequenz ν_0 aufweisen. Dies tritt insbesondere bei der Fouriertransformation von periodischen, nicht sinusförmigen Signalen auf. Einer Harmonischen entsprechen eine Frequenz, eine Amplitude und eine Phasenlage. Die Grundschiwingung entspricht dabei der niedrigsten Frequenz der harmonischen Reihe, welche dem Kehrwert der Periodendauer eines solchen Signals entspricht. Bei ihr beginnt die Nummerierung mit 0. Alle höheren Frequenzen (Harmonische bzw. "Oberschwingungen") werden in diesem Dokument aufsteigend ausgehend von der Grundschiwingung nummeriert, d. h. die erste Oberschwingung ist die erste Harmonische.

[0035] Die oben erwähnte Achslagerung AXL besteht üblicherweise aus dem Wälzlager, Gehäuseteilen und einem Deckel. Die Beschleunigungssensoren BSE können beispielsweise an dem Deckel bzw. an dem Gehäuse der Achslagerung AXL angeordnet sein.

[0036] Ein wesentliches Element der vorliegenden Erfindung ist die Erkenntnis, dass besonders repräsentative Messergebnisse erzielt werden können, wenn die Wirkungsrichtung der Beschleunigungssensoren BSE im wesentlichen normal zur Schienenenebene ε oder parallel zur Fahrtrichtung des Schienenfahrzeuges verläuft. In der Zeichnung ist die Fahrtrichtung FAR bzw. die Wirkungsrichtung der Beschleunigungssensoren BSE mit einem Pfeil dargestellt.

[0037] Unter Wirkungsrichtung eines Beschleunigungssensors BSE wird in diesem Dokument die Richtung verstanden, in welcher der Sensor Beschleunigungskräfte aufnehmen und Signale liefern kann.

[0038] Die Beschleunigungssensoren BSE können beispielsweise als piezoelektrische Sensoren ausgebildet sein, bei welchen in bekannter Weise ein piezoelektrischer Kristall zwischen zwei parallel zueinander verlaufenden Kondensatorplatten angeordnet ist. Findet diese Art von Sensoren Verwendung so kann man dadurch, dass die beiden Kondensatorplatten im wesentlichen normal zur Fahrtrichtung des Schienenfahrzeuges oder parallel zur Schienenenebene ε verlaufen, die Wirkrichtung der Beschleunigungssensoren BSE mit der Fahrtrichtung bzw. mit einer Richtung normal zu dieser zur Übereinstimmung bringen. Selbstverständlich können auch andere bekannte Beschleunigungssensoren, die auf anderen Mechanismen beruhen, verwendet werden.

[0039] In der weiteren Betrachtung in diesem Dokument wird auf eine Anordnung der Beschleunigungssensoren Bezug genommen, bei welcher die Wirkrichtung der Sensoren normal zur Schienenenebene ε verläuft, wobei diese Wirkungsrichtung WIR aus darstellerischen Gründen hier nicht gezeigt ist.

[0040] Gemäß Fig. 2 werden die von den Beschleunigungssensoren BSE aufgenommenen Beschleunigungssignale SI1, SI2, SI3, SI4 an eine Auswerteeinheit ASW übermittelt. Die Übertragung der Beschleunigungssignale SI1, SI2, SI3, SI4 von den Beschleunigungssensoren BSE zu der Auswerteeinheit ASW kann über elektrische Leiter, Glasfaserkabel oder drahtlos erfolgen. Dadurch, dass jedem Rad zumindest ein Beschleunigungssignal SI1, SI2, SI3, SI4 zugeordnet ist, kann ein Radschaden sofort lokalisiert werden.

[0041] In der Auswerteeinheit ASW werden Signalwerte der Beschleunigungssignale SI1, SI2, SI3, SI4, die in einem vorgebbaren Zeitintervall liegen, einer Fouriertransformation FFT bzw. einer anderen unitären Transformation unterworfen werden, die den Zeitbereich eines Signals auf den Frequenzbereich abbildet, unterworfen.

[0042] Schaltungen und Verfahren zur Durchführung einer Fouriertransformation, insbesondere einer Fast

Fouriertransformation sind bekannt und beispielsweise in der EP 402 145 und in "Sprachverarbeitung" von B. Eppinger und E. Herter; Hanser Verlag München Wien 1993 S. 68-71 beschrieben.

[0043] In den erhaltenen Spektren werden gewisse Spektralanteile, die sogenannten Radunrundheitsharmonischen RH0 - RH10, auf die weiter unten erläuterte Weise ermittelt.

[0044] Die Grundschiwingung bzw. Grundharmonische der Radunrundheitsharmonischen RH0 - RH10 liegt in einer Spektraldarstellung der Beschleunigungssignale SI1, SI2, SI3, SI4, wie bereits oben erwähnt, exakt bei der Drehfrequenz v_0 der Radachse. Zur genauen Ermittlung dieser Drehfrequenz kann an der Radachse ein Drehfrequenzsensor angeordnet sein.

[0045] Zur quantitativen Analyse eines Radschadens wird als Kennwert KEN beispielsweise der Mittelwert der Amplituden einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen RH0 - RH10 gebildet und mit einem vorgebbaren Sollwert SOL verglichen. Je nach Betrag der Abweichung des Kennwertes KEN von dem Sollwert SOL kann eine Quantifizierung des Schadensausmaßes erfolgen.

[0046] Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass Wertebereichen bzw. Werten des soeben erwähnten Kennwertes ein bestimmter quantitativer Schadenszustand des Rades entspricht. Ein bestimmter Wert/Wertebereich des Kennwertes KEN entspricht beispielsweise einem geringen Schaden, ein anderer Wert/Wertebereich einem stärker beschädigten Rad und wieder ein anderer Wert/Wertebereich einem schwer beschädigten Rad. Ein direkter Vergleich mit einem Sollwert SOL ist in diesem Fall nicht notwendig.

[0047] Nach Fig. 3 weisen die Amplituden A der Radunrundheitsharmonischen RH0, RH1, RH2, RH3, RH4, RH5, RH6, RH7, RH8, RH9, RH10 unterschiedliche Höhen auf. Bei Unrundheiten und Flachstellen der Räder weisen die dazugehörigen Radunrundheitsharmonischen RH0-RH10 stark erhöhte Amplituden A auf, weshalb der oben beschriebene Kennwert zur quantitativen Analyse mit zunehmender Unrundheit bzw. Abflachung zunimmt.

[0048] Eine qualitative Bestimmung eines Radschadens lässt sich besonders einfach für die Räder eines Radsatzes realisieren. Durch die starre Verbindung der beiden Räder mittels einer Achse, weisen die beiden Räder unabhängig von ihrem Bewegungszustand immer die selbe Relativlage zueinander auf. Dies ist auch der Grund, warum aus einer Analyse der Phasenlagen der den beiden Rädern zugeordneten Radunrundheitsharmonischen RH0-RH10 auf die Art des Radschadens geschlossen werden kann.

[0049] Nach Ermittlung der jeweiligen Radunrundheitsharmonischen werden deren Phasenlagen bestimmt, wobei die Phasenlagen aus den Fouriertransformierten der Beschleunigungssignale entnommen werden und anschließend werden die Differenzen der Phasenlagen ausgewählter Radunrundheitsharmoni-

scher gebildet.

[0050] Die Phasendifferenzen werden jeweils für die oben erwähnten Zeitintervalle errechnet, für welche die Fouriertransformation der Beschleunigungssignale gebildet wird.

[0051] Gemäß Fig. 4 kann das vermehrte Auftreten bestimmter Werte der betrachteten Phasendifferenzen $\Delta\phi_m$, die hier anschaulichkeitshalber in einem Einheitskreis aufgetragen sind, verschiedenen Schadensfällen zugeordnet werden. Der Index m dient zur fortlaufenden Nummerierung der Phasendifferenzen. Treten beispielsweise Phasendifferenzen von ungefähr 0 Grad mit erhöhter Häufigkeit auf, so kann daraus auf Flachstellen an beiden Rädern eines Radsatzes geschlossen werden, während ein gehäuftes Auftreten von Phasendifferenzen um 180 Grad zwei polygonalverformten Rädern entspricht.

[0052] Tritt keine Phasendifferenz mit erhöhter Häufigkeit auf, so kann daraus geschlossen werden, dass noch keine ausgeprägte Verformung der Räder vorliegt.

[0053] Eine weitere Methode zur quantitativen Radunrundheitsdiagnose besteht darin, die Fouriertransformierte der Beschleunigungssignale, wie sie in Fig. 5 dargestellt ist, einer Kepstrumtransformation zu unterwerfen, wobei sich das Kepstrum nach folgender Formel errechnet $KEP = iFFT (ln (FFT))$, in der KEP das Kepstrum $iFFT$ die inverse Fouriertransformation, FFT die schnelle Fouriertransformation des Beschleunigungssignals und ln den natürlichen Logarithmus bedeuten - siehe dazu "Digitale Sprachverarbeitung" von Peter Vary et. al. Teubner-Verlag Stuttgart, 1998, S 68 - 69.

[0054] Das Spektrum nach Fig. 5 entspricht im wesentlichen dem Spektrum nach Fig. 3, die dargestellten Spektrallinien entsprechen auch hier einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen. Aus darstellerischen Gründen wurde jedoch auf eine Nummerierung der Radunrundheitsharmonischen in Fig. 5 verzichtet.

[0055] Die Kepstrum-Darstellung nach Fig. 6 enthält im Fall eines unrunder Rades beim Kehrwert der Wellenfrequenz v_{welle} des Rades eine Spitze, welche der mittleren Höhe aller Radunrundheitsharmonischen aus dem betrachteten Frequenzintervall entspricht und somit einen Rückschluss auf die Existenz einer Unrundheit sowie auf die Art der Verformung zulässt.

[0056] Eine weitere Möglichkeit, aus den Radunrundheitsharmonischen RH0-RH10 einen für den Radzustand charakteristischen Kennwert KEN zu berechnen, besteht darin, die maximale Abweichung der Lauffläche überwachter Räder von der idealen Kreisform zu bestimmen. Der Einfluss des Oberbaus - durch Anregung von Radharmonischen, die im Resonanzbereich der Eigenschwingungen des Oberbaus liegen, kann es zu ungewollten Verstärkungen einzelner Amplituden kommen - auf die Amplituden der Radunrundheitsharmonischen kann in einer einfachen Ausführungsform dadurch verringert werden, dass über längere Zeitab-

schnitte Amplitudenwerte a der Radunrundheitsharmonischen RH0- RH10 gemittelt werden. Die gemittelten Radunrundheitsharmonischen RH0- RH10 können in weiterer Folge zur Kennwertbildung unter Berücksichtigung ihrer Phasenlagen φ , wie weiter unten beschrieben, einer inversen Fouriertransformation iFFT unterzogen werden.

[0057] Gemäß Fig. 7 in dem dargestellten Beschleunigungsspektrum $a(v)$ alle Frequenzanteile, die keinen Radunrundheitsharmonischen RH0-RH10 entsprechen, Null gesetzt werden, sodass ein vereinfachtes Beschleunigungsspektrum (Fig. 8) resultiert, in welchem nur die Radunrundheitsharmonischen vertreten sind.

[0058] Aus vom Oberbau unabhängigen Anteilen der Beschleunigungsamplituden a_{RH} , a_{RH_i} ergeben sich durch Division durch das Quadrat der jeweiligen Kreisfrequenz ω_i die räumlichen Amplituden w_{RH_i} der Radunrundheitsharmonischen überwachter Laufflächen (Fig. 9).

[0059] Aus den resultierenden räumlichen Radunrundheitsharmonischen RHW0-RHW10 mit den räumlichen Amplituden w_{RH} und den jeweiligen Phasenwinkeln φ wird in weiterer Folge ein räumlicher Unrundheitsverlauf URV der Lauffläche des betrachteten Rades errechnet. Hierzu werden die räumlichen Radunrundheitsharmonischen RHW0-RHW10, d. h. die jeweiligen räumlichen Amplituden w_{RH_i} und Phasenwinkel φ einer inversen Fouriertransformation iFFT unterworfen (Fig. 10). Der räumliche Unrundheitsverlauf URV der Lauffläche ergibt sich sodann unmittelbar aus der inversen Fouriertransformation iFFT der räumlichen Radunrundheitsharmonischen.

[0060] Durch mehrfaches Mitteln der räumlichen Unrundheitsverläufe URV über mehrere Zeitfenster ergibt sich eine zuverlässige Form der diagnostizierten Unrundheit. Der (absolute) Spitze zu Spitze Wert, d. h. die Differenz DIF zwischen dem Maximum MAX und dem Minimum MIN des Unrundheitsverlaufes URV stellt einen Kennwert KEN der Abweichung des Rades von einem kreisförmigen Querschnitt und somit ein Maß für den Zustand des betrachteten Rades dar.

[0061] Der Hauptvorteil der soeben beschriebenen Methode besteht darin, dass man anstelle statisch oder quasistatisch gemessener Unrundheitsverläufe URV das tatsächlich wirksame Profil der Lauffläche eines Rades ermitteln kann, das heißt, dass eine direkte Abbildung des wirksamen Laufflächenumfangs erfolgen kann. Da die Messung und Kennwertermittlung während des Fahrens erfolgt, wird einerseits die Erfassung und qualitative und quantitative Beurteilung plötzlich auftretender Laufflächenschäden ermöglicht, andererseits kann die Kennwertermittlung als Analyseinstrument zur Bestimmung des dynamischen Verhaltens vorgegebener statisch bestimmter Unrundheiten dienen.

[0062] Das oben beschriebene Verfahren kann selbstverständlich unter Verwendung bekannter, entsprechend programmierter Mikroprozessoren online durchgeführt werden. Dem Fachmann sind darüber hin-

aus zahlreiche Programme bzw. Programmiersprachen bekannt, die sich zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens eignen, beispielsweise Mathematica, Matlab etc.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Schadenserkenkung an in Achslagerungen (AXL) gelagerten Rädern (RAD) eines Schienenfahrzeuges, wobei im Bereich zumindest einer Achslagerung (AXL) zumindest ein Beschleunigungssignal (SI1, SI2, SI3, SI4) erzeugt wird, aus welchem Radunrundheitsharmonische (RH0, RH1, RH2, RH3, RH4, RH5, RH6, RH7, RH8, RH9, RH10) ermittelt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen (RH0, RH1, RH2, RH3, RH4, RH5, RH6, RH7, RH8, RH9, RH10) zumindest ein Kennwert (KEN) gebildet wird, der den Radzustand quantitativ und/oder qualitativ charakterisiert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Berechnung des Kennwertes (KEN) Signalwerte des zumindest einen Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4), die innerhalb eines vorgebbaren, Zeitfensters liegen, einer Fouriertransformation oder einer anderen unitären Transformation unterworfen werden, die den Zeitbereich eines Signals auf den Frequenzbereich abbildet.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus jeder Transformierten der Signalwerte des Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4) die Radunrundheitsharmonischen (RH0, RH1, RH2, RH3, RH4, RH5, RH6, RH7, RH8, RH9, RH10) zur Bildung des zumindest einen Kennwertes (KEN) ermittelt werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Kennwertbildung aus Amplituden einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen (RH0 - RH10) ein Mittelwert gebildet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Phasendifferenzen ($\Delta\varphi$) von zumindest zwei gleichrangigen Radunrundheitsharmonischen (RH0 - RH10) gebildet werden, die je einem Rad eines Radsatzes zugeordnet sind.
6. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kepstralanalyse des zumindest einen Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4) durchgeführt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ermittlung der

Radunrundheitsharmonischen (RH0-RH10) die Drehfrequenz (v_0) einer Radachse zumindest eines betrachteten Rades ermittelt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** Amplituden (a_{RH_i}) einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen (RH0- RH10) durch das Quadrat der jeweils der betreffenden Radunrundheitsharmonischen (RH0-RH10) zugehörigen Kreisfrequenz (ω_i) dividiert und die daraus resultierenden, räumlichen Radunrundheitsharmonischen (RHW0-RHW10) hierauf unter Berücksichtigung ihrer Phasenlage (φ) einer inversen Fouriertransformation (iFFT) unterworfen werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Kennwert (KEN) in einer Kennwertdatenbank (KDA) abgelegt wird.
10. Vorrichtung zur Schadenserkenkung an in Achslagern (AXL) gelagerten Rädern eines Schienenfahrzeuges, wobei im Bereich zumindest einer Achslagerung (AXL) zumindest ein Beschleunigungssensor (BSE) vorgesehen ist, der mit einer Auswerteeinheit (ASW) in Verbindung steht, die dazu eingerichtet ist, zumindest ein Beschleunigungssignal (SI1, SI2, SI3, SI4) von dem Beschleunigungssensor zu empfangen, und daraus Radunrundheitsharmonische (RH1-RH10) zu ermitteln, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, aus einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen (RH1-RH10) zumindest einen Kennwert (KEN) zu bilden, der den Radzustand quantitativ und/oder qualitativ charakterisiert.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, Signalwerte des zumindest einen Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4), die innerhalb eines vorgebbaren Zeitfensters liegen einer Fouriertransformation oder einer anderen unitären Transformation, die den Zeitbereich eines Signals auf den Frequenzbereich abbildet, zu unterwerfen.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, aus jeder Transformierten der Signalwerte des Beschleunigungssignals (SI1, SI2, SI3, SI4) die Radunrundheitsharmonischen (RH0, RH1, RH2, RH3, RH4, RH5, RH6, RH7, RH8, RH9, RH10) zu ermitteln.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteein-

heit (ASW) dazu eingerichtet ist, aus Amplituden einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen (RH0 - RH10) einen Mittelwert zu bilden.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, zur Kennwertbildung Phasendifferenzen ($\Delta\varphi$) von zumindest zwei Radunrundheitsharmonischen (RH0 - RH10) zu bilden, die je einem Rad eines Radsatzes zugeordnet sind.
15. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinheit (ASW) dazu eingerichtet ist, eine Kepstralanalyse des zumindest einen Beschleunigungssignals (SI, SI2, SI3; SI4) durchzuführen.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie dazu eingerichtet ist, zur Ermittlung der Radunrundheitsharmonischen (RH0-RH10) die Drehfrequenz (v_0) einer Radachse zumindest eines betrachteten Rades zu ermitteln.
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie dazu eingerichtet ist, Amplituden (a_{RH_i}) einer vorgebbaren Anzahl von Radunrundheitsharmonischen (RH0-RH10) durch das Quadrat der jeweils der betreffenden Radunrundheitsharmonischen (RH0-RH10) zugehörigen Kreisfrequenz (ω_i) zu dividieren und die daraus resultierenden, räumlichen Radunrundheitsharmonischen (RHW0-RHW10) hierauf unter Berücksichtigung ihrer Phasenlage (φ) einer inversen Fouriertransformation (iFFT) zu unterwerfen.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kennwertdatenbank (KDA) zur Speicherung des Kennwertes (KEN) vorgesehen ist.

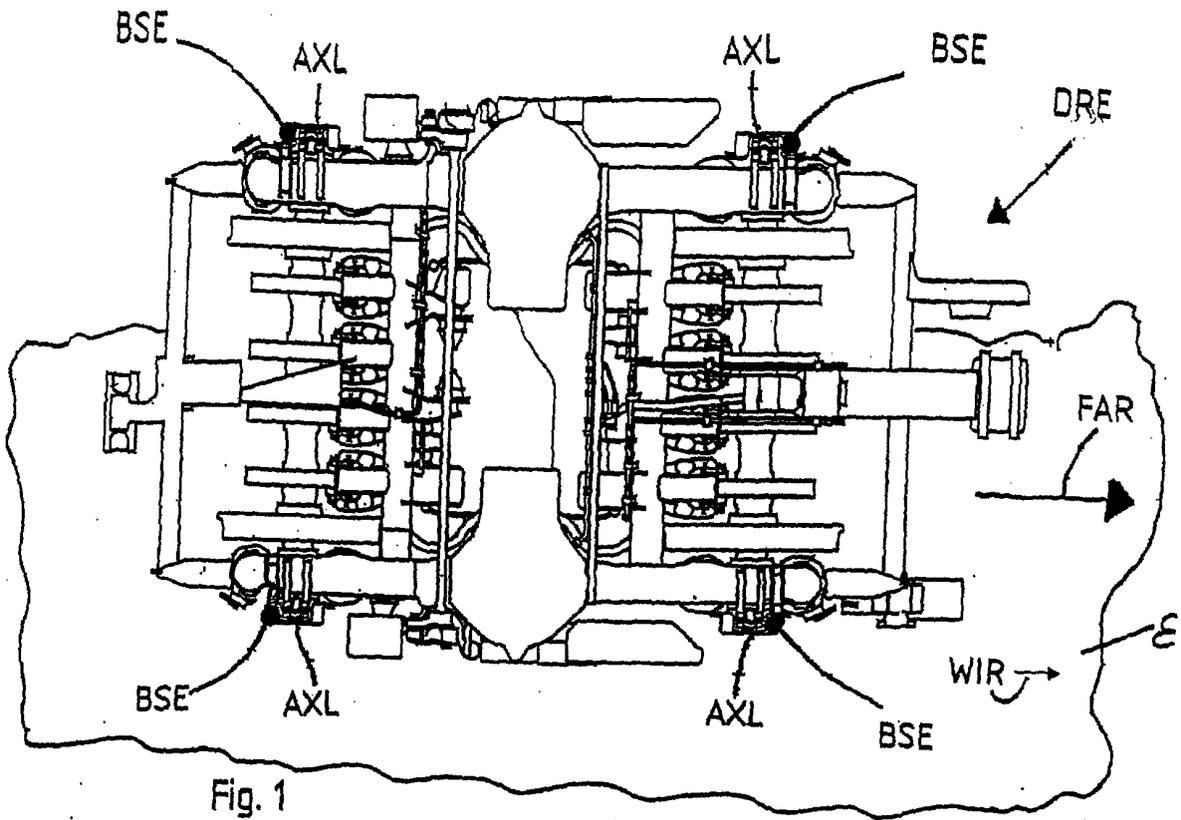


Fig. 1

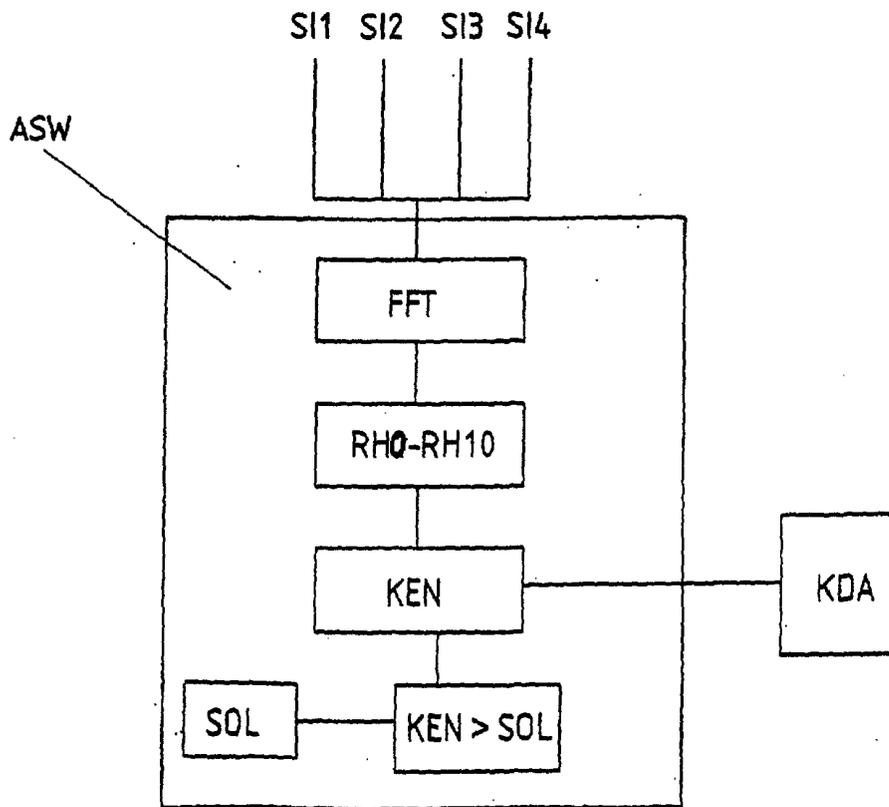


Fig. 2

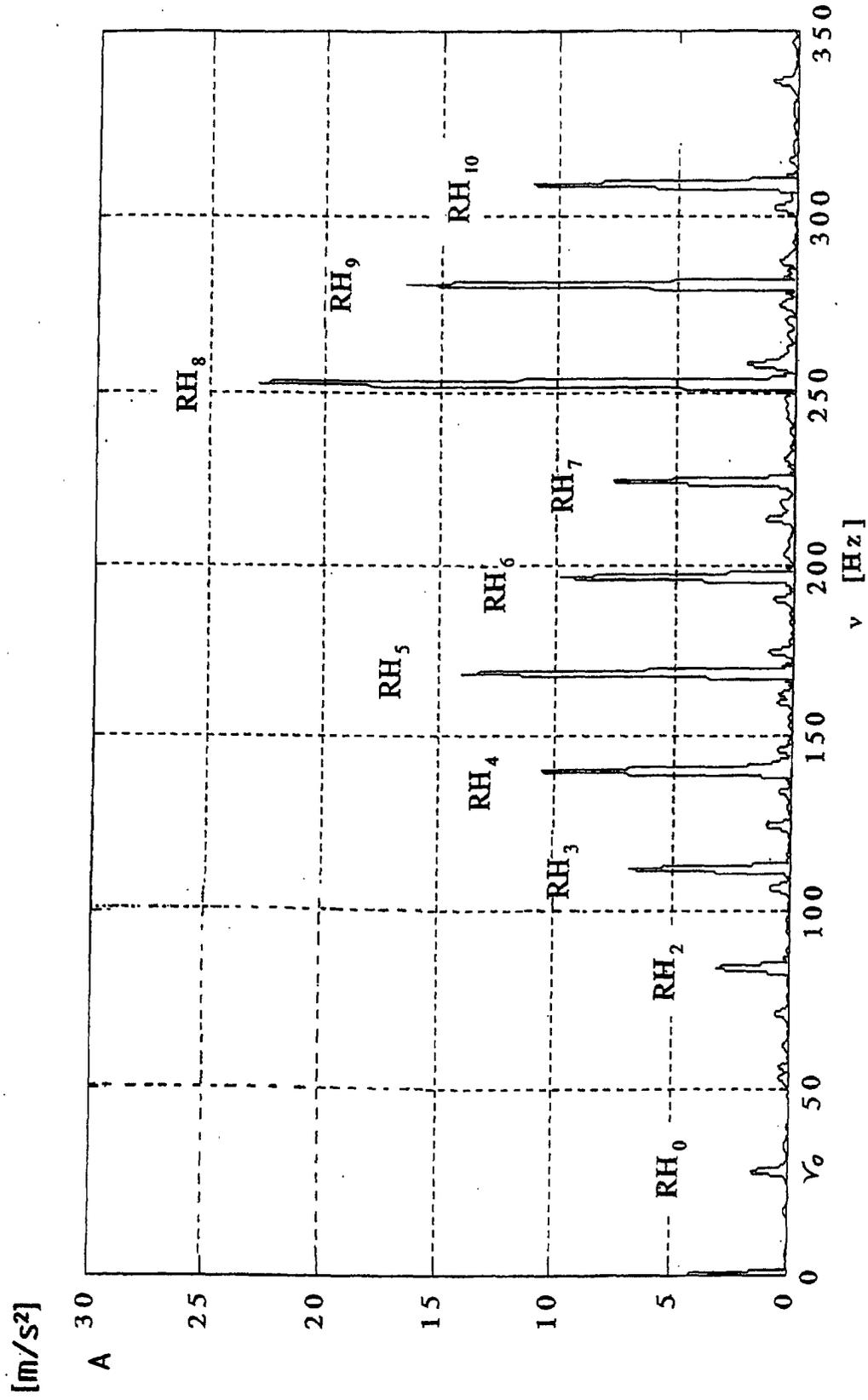


Fig. 3

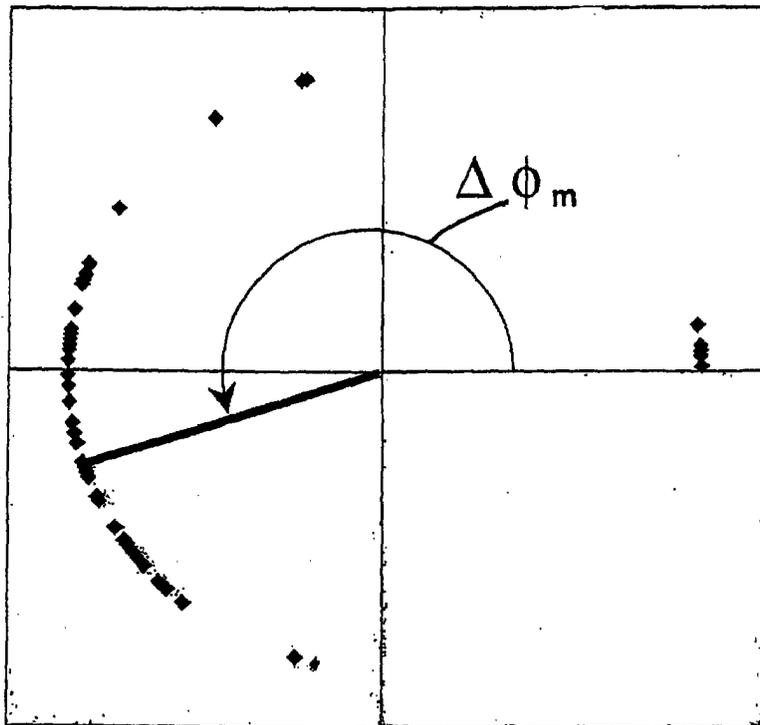


Fig. 4

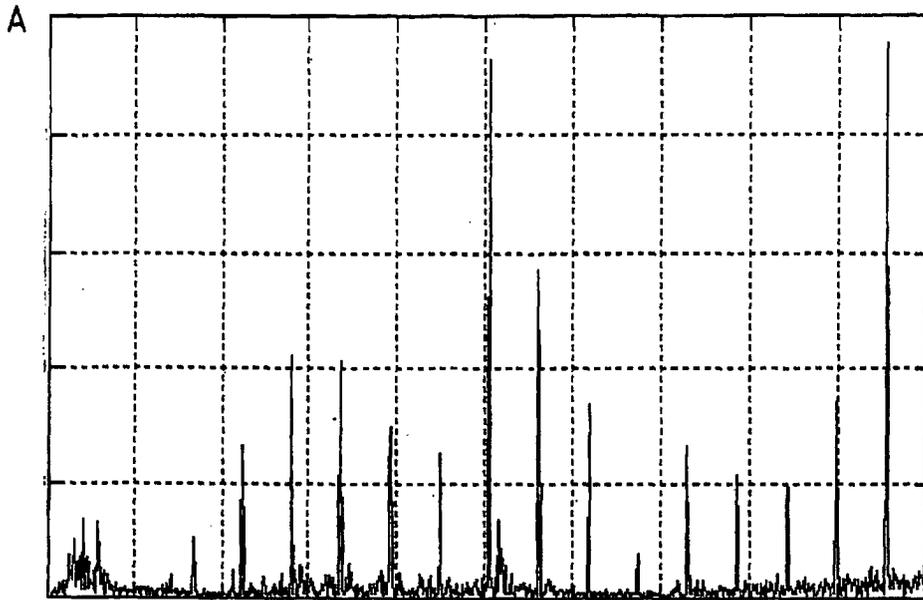


Fig. 5

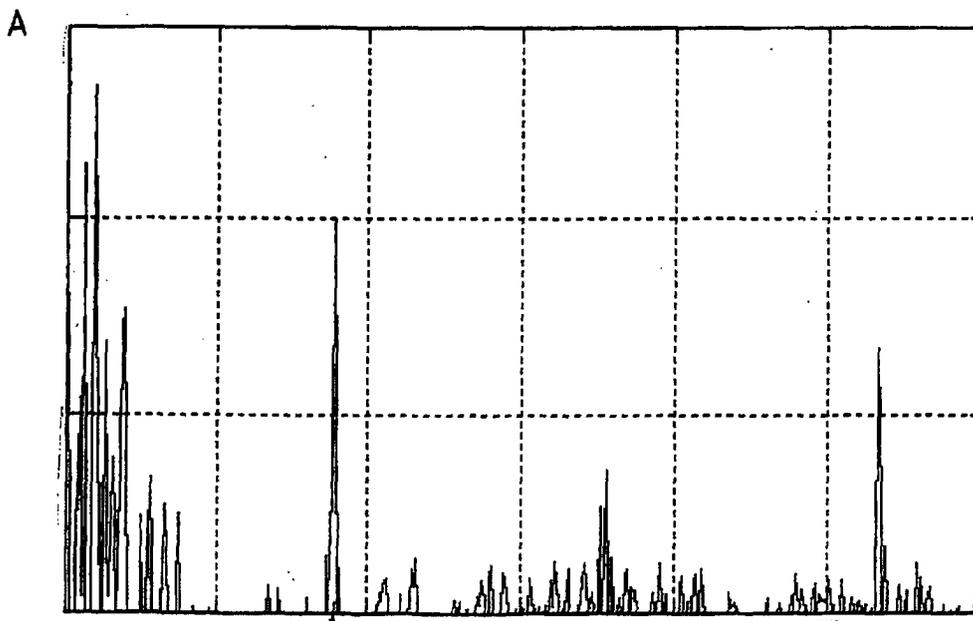


Fig. 6

↓ $FFTa(\nu), \phi(\nu)$

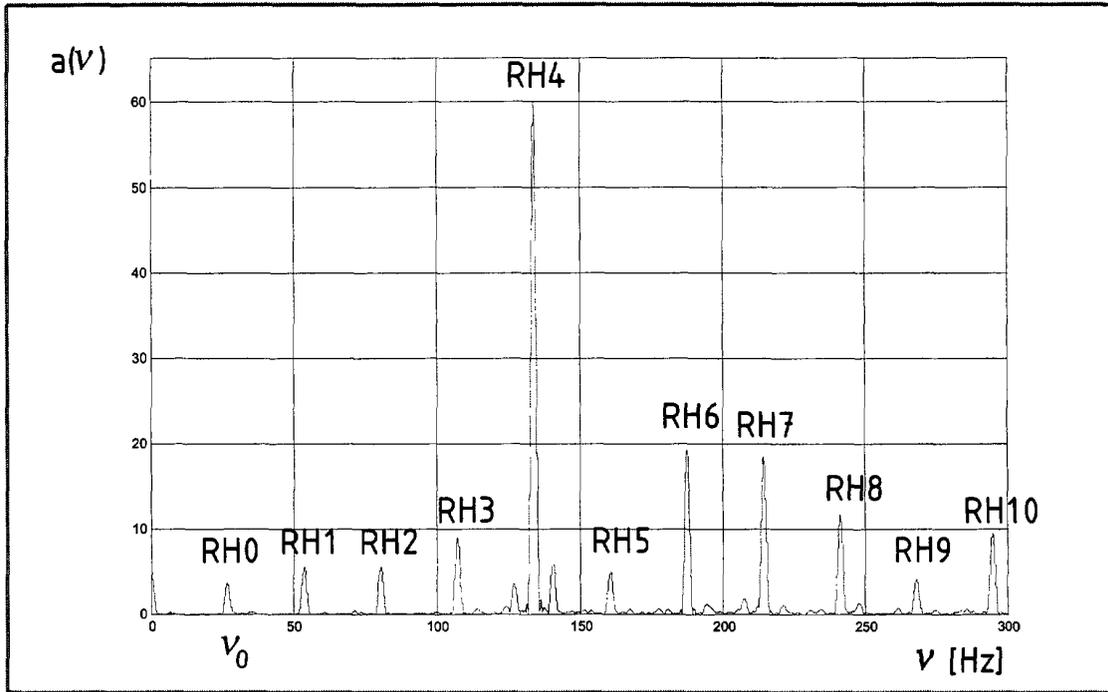


Fig. 7

↓ $a_{RH}, \phi(\nu)$

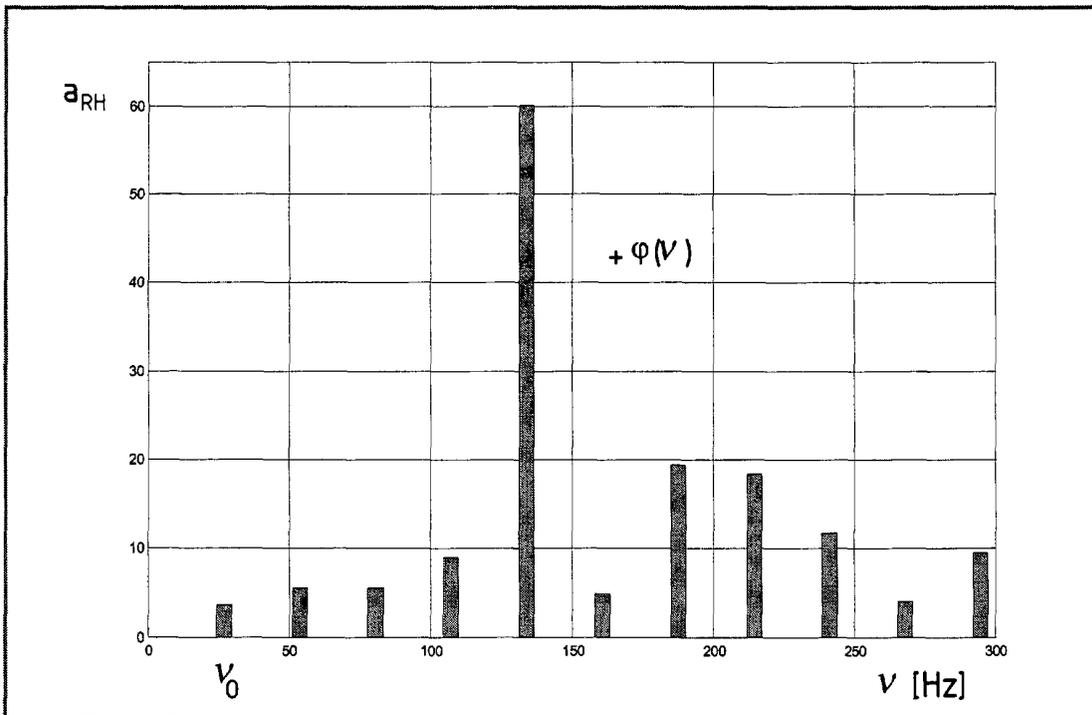


Fig. 8

↓ $W_{RH}, \phi(\nu)$

$W_{RH}, \varphi(\nu)$

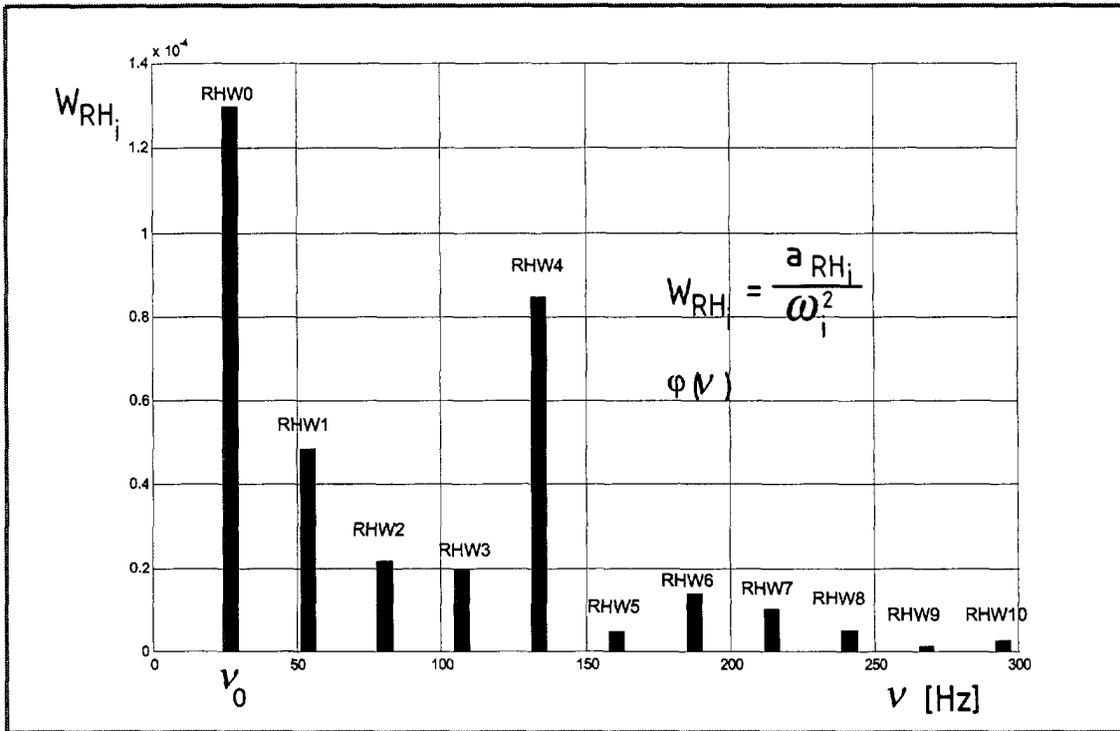


Fig. 9

iFFT

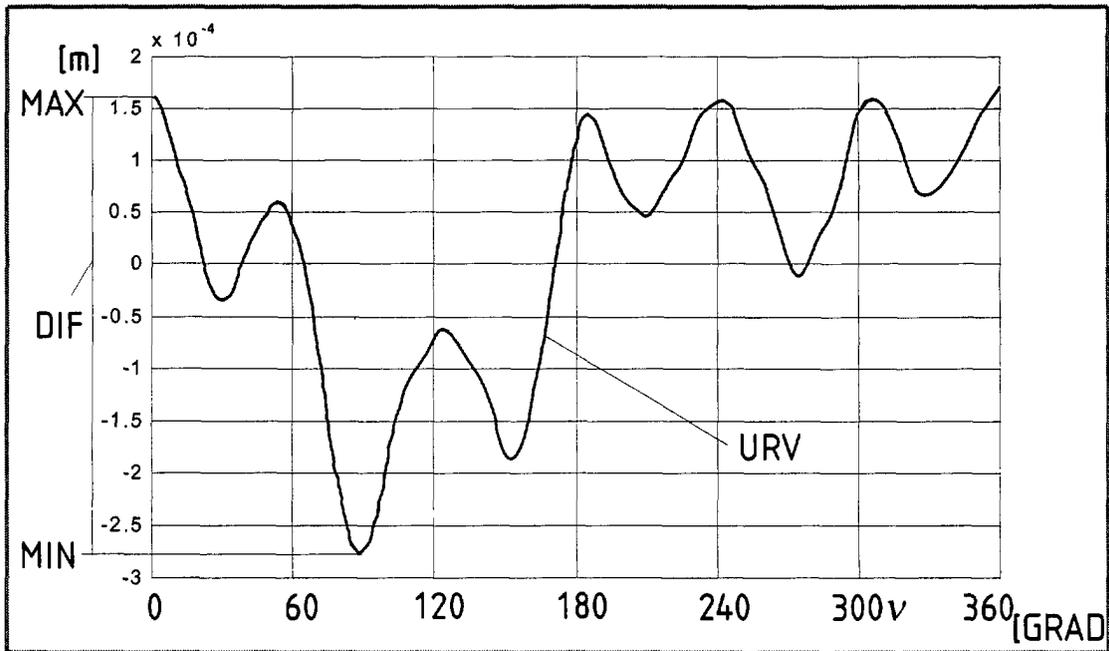


Fig. 10



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 01 89 0293

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
P,X	WO 00 60322 A (LODER MAX ;BAECHTIGER ROLF (CH); SCHREPPERS RETO (CH); SIEMENS SCH) 12. Oktober 2000 (2000-10-12) * das ganze Dokument *	1-3,7, 9-12,16, 18	B61K9/12 G01M17/10
P,X	WO 00 76828 A (GOGL ERNST ;SCHNEIDER JUERGEN (DE); GRANZ BERND (DE); MAUSSNER GER) 21. Dezember 2000 (2000-12-21) * das ganze Dokument *	1-3,7, 10-12,16	
X,D	US 5 433 111 A (HERSHEY JOHN E ET AL) 18. Juli 1995 (1995-07-18) * Spalte 4 - Spalte 7 *	1,2,7, 10,11,16	
A,D	WO 82 00805 A (SINHA B) 18. März 1982 (1982-03-18) * Zusammenfassung *	1,10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			B61K G01M G01B G01H G01N
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
MÜNCHEN	29. Januar 2002	Fuchs, A	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03/82 (F04-C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 01 89 0293

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

29-01-2002

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0060322 A	12-10-2000	WO 0060322 A1	12-10-2000
		EP 1166059 A1	02-01-2002
WO 0076828 A	21-12-2000	DE 19926164 A1	11-01-2001
		WO 0076828 A1	21-12-2000
US 5433111 A	18-07-1995	CA 2163626 A1	16-11-1995
		DE 19580682 T0	26-09-1996
		JP 9500452 T	14-01-1997
		WO 9530886 A1	16-11-1995
WO 8200805 A	18-03-1982	SE 422559 B	15-03-1982
		CA 1170753 A1	10-07-1984
		DE 3173370 D1	13-02-1986
		EP 0058705 A1	01-09-1982
		IT 1137650 B	10-09-1986
		JP 2015428 B	12-04-1990
		JP 57501278 T	22-07-1982
		WO 8200805 A1	18-03-1982

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82